

АНОТАЦІЯ

Шунін О. Ю. Нейромережеві методи виявлення аномалій у полях фізичних величин. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 - Комп'ютерні науки. - Національний університет «Одеська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Одеса, 2026.

Дисертаційну роботу присвячено розробленню нейромережевих методів виявлення, класифікації та локалізації аномалій у полях фізичних величин на основі узгодженого просторово-часового подання різнорідних сенсорних даних БПЛА-платформи. Науковий зміст роботи полягає у створенні такого нейромережевого підходу, за якого різнорідні вимірювальні потоки перетворюються на структуровані вхідні дані нейронних мереж, придатні для достовірного виявлення аномалій, їх класифікації та просторової локалізації.

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, що пов'язана з недостатньою розробленістю нейромережевих методів виявлення аномалій у полях фізичних величин за різнорідними сенсорними даними. Показано, що застосування нейронних мереж є перспективним для задач, у яких аномалія не спостерігається безпосередньо, а проявляється через слабо виражені, нелінійні та зашумлені відхилення просторового, часового або просторово-часового розподілу фізичного поля від фонового стану.

Наукова проблема дисертаційного дослідження полягає у недостатній розробленості нейромережевих методів виявлення аномалій у полях фізичних величин за різнорідними сенсорними даними. Для коректного навчання та застосування нейронних мереж такі дані мають бути подані у вигляді узгодженого просторово-часового і структурованого інформаційного представлення, оскільки сенсорні потоки різної фізичної природи формуються з

різними частотами дискретизації, у різних форматах і системах координат. Визначено, що ефективність нейромережевого пошуку, виявлення, класифікації та локалізації аномалій залежить не лише від архітектури нейронної мережі, а й від якості формування її вхідних даних.

У вступі визначено мету, об'єкт, предмет, задачі та методи дослідження; наведено наукову новизну й практичне значення отриманих результатів; висвітлено особистий внесок здобувача, відомості про апробацію, публікації та структуру дисертаційної роботи.

Дисертаційне дослідження виконано у межах проєктів НФДУ № 2023.04/0161 (ДР 0124U003664), СШ/5-2024 від 28.11.2024 (ДР 0124U004854) та НДР 723-43 (ДР 0126U001468).

У першому розділі проаналізовано сучасний стан проблеми нейромережевого виявлення аномалій у полях фізичних величин, розглянуто фізичні принципи роботи імпульсних металошукачів, TMR-магнітометрів, мультиспектральних камер і георадарів.

Показано, що імпульсно-індукційний канал є чутливим до електропровідних включень, магнітометричний - до магнітних неоднорідностей, георадарний — до підповерхневої структури середовища, а мультиспектральні дані можуть містити непрямі ознаки стану поверхні. Встановлено, що окремі сенсорні канали мають різну інформативність, різні джерела похибок і різні просторово-часові характеристики. Їх незалежне використання або просте поєднання результатів вимірювання не забезпечує достатньої достовірності пошуку, низького рівня хибних тривог і необхідної точності локалізації. Головним стримувальним чинником для застосування нейронних мереж визначено відсутність узгодженого подання різнорідних вимірювань, придатного для навчання та застосування нейромережевих моделей.

У другому розділі дисертаційної роботи розв'язано задачу підготовки різнорідних сенсорних даних до нейромережевого виявлення аномалій. Описано

мультисенсорну БПЛА-платформу, яка забезпечує синхронізоване збирання даних різної фізичної природи та їх подальше приведення до єдиного просторово-часового подання. Показано, що відмінності у частотах дискретизації, форматах сигналів, системах координат і фізичній природі вимірювань потребують часового, просторового та структурного узгодження до моменту подання даних на вхід нейронних мереж.

Удосконалено метод часового узгодження різнорідних вимірювальних потоків мультисенсорної БПЛА-платформи, який базується на апаратній прив'язці сенсорних каналів до спільного опорного сигналу. Запропонований метод забезпечує просторовий еквівалент похибки синхронізації 2–4 см та створює необхідні умови для формування коректних вхідних даних для нейронних мереж виявлення аномалій.

Вперше розроблено чотиривимірну модель поля аномалій $S(c, X, Y, t)$ для даних імпульсної індукції, яка формалізує залежність сигналу від параметрів каналу приймання, просторових координат точки зондування та часу релаксації відгуку. На відміну від табличного запису окремих вимірювань, запропонована модель забезпечує формування структурованого подання вхідних даних нейронних мереж виявлення аномалій.

Удосконалено метод просторової прив'язки мультисенсорних вимірювань, який поєднує автономну кінематику реального часу з кількісним обґрунтуванням точності геоприв'язки. Досягнута просторова похибка 1–8 см забезпечує формування геометрично узгодженого тензорного подання даних та формування вхідних даних для нейронних мереж виявлення аномалій. На основі узгоджених вимірювань сформовано 14-канальне тензорне подання $T(x, y, k)$ шляхом інтерполяції різнорідних потоків на спільну координатну сітку 10×10 см. Таке подання є уніфікованим багатоканальним входом для нейромережевого виявлення і класифікації аномалій.

У третьому розділі дисертаційної роботи розроблено нейромережевий метод виявлення та класифікації аномалій у полях фізичних величин за тензорним поданням мультисенсорних даних. Геометрично узгоджене тензорне подання $T(x,y,k)$ використано як спільний багатоканальний вхід для ансамблю одновимірних згорткових нейронних мереж і стекінгового метакласифікатора. Одновимірні згорткові нейронні мережі обробляють часові розгортки окремих каналів, а стекінговий метакласифікатор поєднує результати окремих гілок для прийняття узагальненого рішення щодо наявності аномалії.

Удосконалений нейромережевий метод, на відміну від підходів, орієнтованих на незалежний аналіз окремих сенсорних каналів, забезпечує спільне використання даних різної фізичної природи для пошуку аномалій у темпі надходження вимірювань. На незалежних вибірках отримано $Pd = 0,965$ та $F1 = 0,952$; час роботи нейромережевого класифікатора становить менш ніж 4 мс на вектор даних імпульсної індукції. Це підтверджує придатність запропонованого методу для застосування в умовах наближеного до реального часу оброблення мультисенсорних даних.

У цьому ж розділі набув подальшого розвитку підхід до побудови фізично-інформованих нейронних мереж. Запропоновано включення до функції втрат регуляризаційних складових, що відображають структурні інваріанти сенсорних сигналів, задані дипольною моделлю магнітної аномалії та моделями багатоекспоненційного затухання вихрових струмів. Це підвищує узагальнювальну здатність нейронних мереж пошуку, виявлення, класифікації та локалізації аномалій за умов обмеженої розміченої вибірки.

У четвертому розділі дисертаційної роботи розглянуто формування навчальних вибірок і планування місій для нейромережевого виявлення аномалій. Обґрунтовано структуру навчального зразка, використання лабораторних і польових джерел даних, нормування зразків, формування складних негативних прикладів, балансування класів і просторово коректне

розбиття вибірки. Запропоновано стратегію поєднання лабораторного навчання та польового донавчання, що дає змогу враховувати доменний зсув між контрольованими лабораторними вимірюваннями і реальними польовими даними.

Розглянуто застосування фізично коректної аугментації та синтетичних даних, сформованих із використанням цифрового двійника. Показано, що частка синтетичних даних близько 25 % у навчальній вибірці забезпечує приріст F1 на 0,020. Розроблено дворівневу схему планування місії БПЛА-платформи, за якої попередній обліт визначає зони інтересу, а детальне сканування виконується лише в цих зонах. Такий підхід дає змогу скоротити площу детального обстеження на 56,3 % без втрати цільової інформативності для задачі пошуку аномалій.

У п'ятому розділі дисертаційної роботи описано програмну реалізацію та експериментальну перевірку нейромережевих методів виявлення аномалій. Реалізовано програмні засоби оброблення РІ-сигналів імпульсного металошукача, магнітометричних даних, георадарних даних, мультисенсорного злиття, формування навчальних вибірок і побудови інтегральної карти ризику. Показано, що імпульсно-індукційний, магнітометричний і георадарний канали виконують взаємодоповнювальні функції, а їх інтеграція в єдиному нейромережевому конвеєрі підвищує достовірність виявлення аномалій.

Польові випробування підтвердили можливість локалізації аномалій із сантиметровою точністю просторової прив'язки. Синхронізоване збирання даних виконується на борту БПЛА-платформи, а оброблення не потребує наземної інфраструктури корекції. Відкритий набір лабораторних і польових вимірювань трикотушкового імпульсного металошукача опубліковано в репозиторії github.com/op-uav-lab/soil-monitor-mlp.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в отриманні таких результатів:

- удосконалено нейромережевий метод виявлення і класифікації аномалій у полях фізичних величин за мультисенсорними даними БПЛА-платформи, який використовує геометрично узгоджене тензорне подання $T(x,y,k)$ як спільний багатоканальний вхід для ансамблю одновимірних згорткових нейронних мереж і стекінгового метакласифікатора;

- вперше розроблено чотиривимірну модель поля аномалій $S(c,X,Y,t)$ для даних імпульсної індукції, яка формалізує залежність сигналу від параметрів каналу приймання, просторових координат точки зондування та часу релаксації відгуку;

- удосконалено метод часового узгодження різнорідних вимірювальних потоків мультисенсорної БПЛА-платформи, який базується на апаратній прив'язці сенсорних каналів до спільного опорного сигналу, що забезпечує просторовий еквівалент похибки синхронізації 2–4 см;

- удосконалено метод просторової прив'язки мультисенсорних вимірювань, який поєднує автономну кінематику реального часу з кількісним обґрунтуванням точності геоприв'язки, що забезпечує просторову похибку 1–8 см та геометрично узгоджене тензорне подання даних;

- набув подальшого розвитку підхід до побудови фізично-інформованих нейронних мереж шляхом включення до функції втрат регуляризаційних складових, що відображають структурні інваріанти сенсорних сигналів, задані дипольною моделлю магнітної аномалії та моделями багатоекспоненційного затухання вихрових струмів.

Практичне значення результатів полягає у можливості застосування розроблених нейромережевих методів виявлення аномалій у задачах гуманітарного розмінування, обстеження потенційно небезпечних територій, дистанційного моніторингу ґрунтів, геофізичного обстеження та екологічного контролю територій, що зазнали впливу бойових дій або техногенного навантаження. Розроблені методи часового і просторового узгодження сенсорних

потоків, модель $S(c,X,Y,t)$, тензорне подання $T(x,y,k)$ та ансамблевий неймережевий класифікатор забезпечують виявлення аномалій у темпі надходження вимірювань.

Результати дисертаційної роботи використано під час виконання проєкту НФДУ № 2023.04/0161, грантового науково-технічного проєкту СШ/5-2024 від 28.11.2024 та НДР 723-43. Основні результати дисертації опубліковано у десяти наукових працях, серед яких колективна монографія, одна стаття у виданні, що індексується наукометричною базою Scopus, одна стаття у науковому періодичному виданні іншої держави, дві статті у фахових виданнях України категорії «Б» та матеріали наукових конференцій.

Ключові слова: нейронні мережі, глибоке навчання, згортоква нейронна мережа, фізично-інформована нейронна мережа, ансамблеве навчання, класифікація аномалій, злиття даних, різномірні дані, навчальна вибірка, мультисенсорна БПЛА-платформа, інтернет речей, інтелектуальні системи, інформаційні технології, індустрія 4.0–5.0, дистанційне зондування ґрунту, гуманітарне розмінування.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Інформаційне забезпечення дистанційного моніторингу забруднення ґрунтів повоєнних територій : монографія / Антощук С. Г., Дрозд М. О., Маслов О. В., Галчонков О. М., Кондратьєв С. Б., Шунін О. Ю., Баранов О. М., Щербакова Г. Ю., Кошутіна Д. В., Баськов І. М., Костенко В. Л. ; за ред. С. Г. Антощук. Одеса, 2026. ISBN 978-617-8814-10-6. DOI: 10.5281/zenodo.20355627. *Колективна монографія.*

<https://zenodo.org/records/20355627>

2. *Shunin O. Y., Maslov O. V. Information model of remote sensing of soil. Herald of Advanced Information Technology. 2025. Vol. 8, No. 3. P. 352–365. DOI: 10.15276/hait.08.2025.23. Видання індексується наукометричною базою Scopus; включено до переліку наукових фахових видань України.*

<https://doi.org/10.15276/hait.08.2025.23>

3. Дрозд М. О., Дрозд Ю. В., *Шунін О. Ю.* Ефективність навчання нейронної мережі на формованих наборах зображень з заданим рівнем різноманіття. Наука і техніка сьогодні. 2025. № 9(50). С. 1104–1123. DOI: 10.52058/2786-6025-2025-9(50)-1104-1123. Видання включено до переліку наукових фахових видань України, категорія «Б».

[https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-9\(50\)-1104-1123](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-9(50)-1104-1123)

4. *Шунін О. Ю., Маслов О. В.* Алгоритми та методи злиття мультисенсорних даних при виявленні аномалій з використанням БПЛА. Наука і техніка сьогодні. 2026. № 4(58). С. 4832–4854. DOI: 10.52058/2786-6025-2026-4(58)-4832-4854. Видання включено до переліку наукових фахових видань України, категорія «Б».

[https://doi.org/10.52058/2786-6025-2026-4\(58\)-4832-4854](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2026-4(58)-4832-4854)

5. *Shunin O., Maslov O., Galchonkov O. Building a basic drone equipment set for conducting research to detect anomalies in soil. International Science Journal of Engineering & Agriculture. 2025. Vol. 4, No. 5. P. 13–26. DOI: 10.46299/j.isjea.20250405.02. Наукове періодичне видання іношої держави.*

<https://doi.org/10.46299/j.isjea.20250405.02>

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Galchonkov O., Baranov O., Antoshchuk S., Maslov O., Babilunga O., *Shunin O.* Using stacked ensemble classifiers to speed up object recognition in images for mine detection drones. 2024 IEEE 7th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Development (APUAVD). Київ, 2024. P. 262–265. DOI:

10.1109/APUAVD64488.2024.10765855. *Матеріали конференції індексуються наукометричною базою Scopus.*

<https://doi.org/10.1109/APUAVD64488.2024.10765855>

7. Antoshchuk S. G., Drozd M. O., Maslov O. V., Shunin O. Y. Multi-sensor UAV mission planning framework for environmental monitoring and humanitarian demining. Proceedings of the Artificial Intelligence Technologies and Aerospace Issues III International Scientific-Practical Conference. Baku, Azerbaijan, July 8–9, 2025. Proceedings of an international scientific conference.

8. Drozd M., Drozd Y., *Shunin O.* Formation of synthetic image datasets for training neural network. Problems of modern education and old technologies : abstracts of II International scientific and practical conference. Сарагоса, Іспанія, 8–10 вересня 2025 р. Р. 63–69. *Матеріали міжнародної наукової конференції.*

9. Maslov O., Antoshchuk S., Galchonkov O., Mokritskiy V., *Shunin O.* A digital twin of a landmine detector drone based on the prompt gamma neutron activation analysis method. Матеріали XXVII Міжнародної конференції «Автоматика 2024», 20–22 листопада 2024 р. Дніпро (Україна). С. 42. Матеріали міжнародної наукової конференції

10. Маслов О. В., *Шунін О. Ю.* Використання дронів для забезпечення безпеки сільськогосподарських земель. Всеукраїнський науково-практичний форум «Штучний інтелект у тваринництві: майбутнє сьогодні», 9 травня 2025 р. Київ. Матеріали Всеукраїнського науково-практичного форуму.

ABSTRACT

Shunin O. Y. Neural Network Methods for Anomaly Detection in Fields of Physical Quantities. — Qualifying scientific work on the rights of a manuscript.

Thesis for the Doctor of Philosophy degree in specialty 122 - Computer Science.
- Odesa Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Odesa, 2026.

The thesis is devoted to the development of neural network methods for the detection, classification, and localization of anomalies in fields of physical quantities based on an aligned spatio-temporal representation of heterogeneous sensor data from a UAV platform. The scientific contribution of this dissertation lies in developing a neural network approach in which heterogeneous measurement streams are transformed into structured neural network input data suitable for reliable anomaly detection, classification, and spatial localization.

The introduction substantiates the relevance of the dissertation, which is related to the insufficient development of neural network methods for detecting anomalies in fields of physical quantities using heterogeneous sensor data. It is shown that neural networks are a promising tool for tasks in which an anomaly is not observed directly, but manifests itself through weakly expressed, nonlinear, and noisy deviations of the spatial, temporal, or spatio-temporal distribution of a physical field from its background state.

The scientific problem of the dissertation lies in the insufficient development of neural network methods for anomaly detection in fields of physical quantities using heterogeneous sensor data. For correct training and application of neural networks, such data must be represented as an aligned spatio-temporal structured representation, since sensor streams of different physical nature are formed with different sampling rates, in different formats, and in different coordinate systems. It is determined that the

effectiveness of neural network-based anomaly search, detection, classification, and localization depends not only on the neural network architecture, but also on the quality of forming its input data.

The introduction defines the aim, object, subject, tasks, and research methods; presents the scientific novelty and practical significance of the obtained results; and provides information on the applicant's personal contribution, conference presentations, publications, and the structure of the dissertation.

The dissertation was carried out within NRFU project No. 2023.04/0161 (state reg. No. 0124U003664), R&D project SS/5-2024 dated November 28, 2024 (state reg. No. 0124U004854), and R&D project 723-43 (state reg. No. 0126U001468).

The first chapter analyses the current state of neural network-based anomaly detection in fields of physical quantities, covering the physical principles of pulse induction metal detectors, TMR magnetometers, multispectral cameras, and ground-penetrating radar.

Individual channels (PI, magnetometric, GPR, multispectral) have complementary sensitivities but different informativeness, error sources, and spatio-temporal characteristics; their independent use does not ensure sufficient detection reliability or localization accuracy. The key limiting factor is identified as the absence of an aligned spatio-temporal representation of heterogeneous measurements suitable for training and applying neural network models.

The second chapter addresses preparation of heterogeneous sensor data for neural network-based anomaly detection. A multisensor UAV platform is described providing synchronized data acquisition and unified spatio-temporal representation; temporal, spatial, and structural alignment are required before data are supplied to neural networks.

A method for temporal alignment of heterogeneous measurement streams of a multisensor UAV platform has been improved. The method is based on hardware synchronization of sensor channels to a common reference signal. The proposed

method provides a spatial equivalent of synchronization error of 2–4 cm and creates the necessary conditions for forming correct input data for anomaly detection neural networks.

For the first time, a four-dimensional anomaly field model $S(c, X, Y, t)$ for pulse induction data has been developed. The model formalizes the dependence of the signal on the parameters of the receiving channel, the spatial coordinates of the measurement location, and the response relaxation time. In contrast to a tabular record of separate measurements, the proposed model provides the formation of a structured representation of input data for anomaly detection neural networks.

A method for spatial georeferencing of multisensor measurements has been improved. The method combines autonomous real-time kinematics with a quantitative justification of georeferencing accuracy. The achieved spatial error of 1–8 cm provides the formation of a geometrically aligned tensor representation of data and the formation of input data for anomaly detection neural networks. Based on the aligned measurements, a 14-channel tensor representation $T(x, y, k)$ was formed by interpolating heterogeneous streams onto a common 10×10 cm coordinate grid. This representation is a unified multi-channel input for neural network-based anomaly detection and classification.

The third chapter develops a neural network method for detecting and classifying anomalies using a tensor representation of multisensor data. The aligned $T(x, y, k)$ serves as a common multi-channel input for an ensemble of 1D convolutional neural networks; the stacking meta-classifier combines branch outputs to make a generalized decision.

The improved neural network method, in contrast to approaches focused on independent analysis of separate sensor channels, provides joint use of data of different physical nature for anomaly search in near real-time. Independent test samples showed $Pd = 0.965$ and $F1 = 0.952$; the runtime of the neural network classifier is less than 4 ms per pulse induction data vector. This confirms the suitability of the proposed method for use under conditions close to real-time processing of multisensor data.

In the same chapter, the PINN approach has been further developed by introducing loss-function regularization terms based on the dipole magnetic anomaly model and multi-exponential eddy-current decay, improving generalization under limited labelled data.

The fourth chapter considers training dataset formation and mission planning. Training sample structure, normalization, hard negative examples, class balancing, and spatially correct dataset splitting are substantiated; a laboratory-plus-field fine-tuning strategy is proposed to address domain shift.

The use of physically correct augmentation and synthetic data generated using a digital twin is considered. It is shown that a share of synthetic data of about 25% in the training dataset provides an F1 increase of 0.020. A two-level mission planning scheme for the UAV platform has been developed, in which a preliminary flight determines areas of interest, and detailed scanning is performed only within these areas. This approach makes it possible to reduce the detailed survey area by 56.3% without losing the target informativeness for the anomaly search task.

The fifth chapter describes software implementation and experimental verification. Software tools for pulse induction, magnetometric, and GPR data processing and multisensor fusion have been implemented. It is shown that the PI, magnetometric, and GPR channels perform complementary functions, and their integration within a unified neural network pipeline increases detection reliability.

Field tests confirmed the possibility of localizing anomalies with centimetre-level spatial referencing accuracy. Synchronized data acquisition is performed on board the UAV platform, and data processing does not require ground-based correction infrastructure. The developed methods were implemented in the practical activities of Spetsmontazh LLC and OM Energy LLC. An open set of laboratory and field measurements of a three-coil pulse induction metal detector was published in the repository github.com/op-uav-lab/soil-monitor-mlp.

The scientific novelty of the dissertation consists in obtaining the following results:

- the neural network method for anomaly detection and classification in fields of physical quantities using multisensor UAV data has been improved, using the geometrically aligned tensor $T(x,y,k)$ as a common input for a 1D-CNN ensemble and stacking meta-classifier;

- for the first time, a four-dimensional anomaly field model $S(c,X,Y,t)$ for pulse induction data has been developed, formalizing signal dependence on receiving channel, spatial coordinates, and response relaxation time;

- the method for temporal alignment of heterogeneous multisensor UAV measurement streams has been improved, based on hardware synchronization to a common reference signal, providing a spatial synchronization error of 2–4 cm;

- the method for spatial georeferencing of multisensor measurements has been improved, combining autonomous real-time kinematics with quantitative accuracy justification, achieving a spatial error of 1–8 cm;

- the PINN approach has been further developed by introducing loss-function regularization terms reflecting the dipole magnetic anomaly model and multi-exponential eddy-current decay, improving generalization under limited labelled data.

The practical significance of the obtained results lies in the possibility of applying the developed neural network methods for anomaly search, detection, classification, and localization in the tasks of humanitarian demining, primary survey of potentially hazardous territories, remote soil monitoring, geophysical survey, and environmental control of territories affected by hostilities or technogenic impact. The developed methods for temporal and spatial alignment of sensor streams, the anomaly field model $S(c,X,Y,t)$, the multisensor tensor representation $T(x,y,k)$, and the ensemble neural network classifier provide the formation of correct input data for neural networks and anomaly detection at the measurement rate.

The results of the dissertation were used during the implementation of the NRFU project No. 2023.04/0161, the grant-funded R&D project SS/5-2024 dated November 28, 2024, and R&D project 723-43. The main results of the dissertation were published in ten scientific works, including a collective monograph, one article in a journal indexed by the Scopus scientometric database, one article in a foreign scientific periodical, two articles in Ukrainian category “B” professional journals, and conference proceedings.

Keywords: neural networks, deep learning, convolutional neural network (CNN), physics-informed neural network (PINN), ensemble learning, anomaly classification, data fusion, heterogeneous data, training dataset, multisensor UAV platform, Internet of Things (IoT), intelligent systems, information technologies, Industry 4.0–5.0, remote soil sensing, humanitarian demining.

LIST OF PUBLICATIONS OF THE APPLICANT ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION

Scientific works in which the main scientific results of the dissertation are published:

1. Information support for remote monitoring of soil contamination in post-war territories: monograph / Antoshchuk S. G., Drozd M. O., Maslov O. V., Galchonkov O. M., Kondratiev S. B., *Shunin O. Y.*, Baranov O. M., Shcherbakova G. Y., Koshutina D. V., Baskov I. M., Kostenko V. L. ; ed. by S. G. Antoshchuk. Odesa, 2026. ISBN 978-617-8814-10-6. DOI: 10.5281/zenodo.20355627 (in Ukrainian). *Collective monograph.*

<https://zenodo.org/records/20355627>

2. *Shunin O. Y.*, Maslov O. V. Information model of remote sensing of soil. Herald of Advanced Information Technology. 2025. Vol. 8, No. 3. P. 352–365. DOI: 10.15276/hait.08.2025.23. *The journal is indexed by the Scopus database; included in the list of scientific professional publications of Ukraine.*

<https://doi.org/10.15276/hait.08.2025.23>

3. Drozd M. O., Drozd Y. V., *Shunin O. Yu.* Effectiveness of neural network training on formed image sets with a given level of diversity. Science and Technology Today. 2025. No. 9(50). P. 1104–1123. DOI: 10.52058/2786-6025-2025-9(50)-1104-1123 (in Ukrainian). *The publication is included in the list of scientific professional publications of Ukraine, category “B”.*

[https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-9\(50\)-1104-1123](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-9(50)-1104-1123)

4. *Shunin O. Y.*, Maslov O. V. Algorithms and methods of multisensor data fusion for anomaly detection using UAVs. Science and Technology Today. 2026. No. 4(58). P. 4832–4854. DOI: 10.52058/2786-6025-2026-4(58)-4832-4854 (in Ukrainian). *The publication is included in the list of scientific professional publications of Ukraine, category “B”.*

[https://doi.org/10.52058/2786-6025-2026-4\(58\)-4832-4854](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2026-4(58)-4832-4854)

5. *Shunin O.*, Maslov O., Galchonkov O. Building a basic drone equipment set for conducting research to detect anomalies in soil. International Science Journal of Engineering & Agriculture. 2025. Vol. 4, No. 5. P. 13–26. DOI: 10.46299/j.isjea.20250405.02. *Foreign scientific periodical.*

<https://doi.org/10.46299/j.isjea.20250405.02> *Scientific works certifying the conference presentations of the dissertation materials:*

6. Galchonkov O., Baranov O., Antoshchuk S., Maslov O., Babilunga O., *Shunin O.* Using stacked ensemble classifiers to speed up object recognition in images for mine detection drones. 2024 IEEE 7th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Development (APUAVD). Kyiv, 2024. P. 262–265. DOI: 10.1109/APUAVD64488.2024.10765855. *The conference proceedings are indexed by the Scopus database.*

<https://doi.org/10.1109/APUAVD64488.2024.10765855>

7. Antoshchuk S. G., Drozd M. O., Maslov O. V., Shunin O. Y. Multi-sensor UAV mission planning framework for environmental monitoring and humanitarian demining. Proceedings of the Artificial Intelligence Technologies and Aerospace Issues III International Scientific-Practical Conference. Baku, Azerbaijan, July 8–9, 2025. Proceedings of an international scientific conference.

8. Drozd M., Drozd Y., *Shunin O.* Formation of synthetic image datasets for training neural network. Problems of modern education and old technologies : abstracts of the II International scientific and practical conference. Zaragoza, Spain, September 8–10, 2025. P. 63–69. *Proceedings of an international scientific conference.*

9. Maslov O., Antoshchuk S., Galchonkov O., Mokritskiy V., *Shunin O.* A digital twin of a landmine detector drone based on the prompt gamma neutron activation analysis method. Proceedings of the XXVII International Conference “Automatics

2024”, November 20–22, 2024. Dnipro (Ukraine). P. 42. Proceedings of an international scientific conference.

10. Maslov O. V., *Shunin O. Y.* The use of drones for ensuring the safety of agricultural lands. All-Ukrainian Scientific and Practical Forum “Artificial Intelligence in Animal Husbandry: The Future Today”, May 9, 2025. Kyiv. Proceedings of an All-Ukrainian Scientific and Practical Forum.